

**ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
В ЗАДАЧАХ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОСЕЛЕНИЙ БРОНЗОВОГО ВЕКА (НА ПРИМЕРЕ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Батанина Наталья Сергеевна

заведующая отделом археологии

Учебно-научного центра изучения проблем природы и человека,

Челябинский государственный университет

Челябинск, Россия

E-mail: bata567@inbox.ru

Куприянова Елена Владиславовна

кандидат исторических наук,

директор Учебно-научного центра изучения проблем природы и человека,

Челябинский государственный университет

Челябинск, Россия

E-mail: dzdan@mail.ru

Муравьев Лев Анатольевич

кандидат технических наук,

заведующий лабораторией региональной геофизики,

Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича

Уральского отделения РАН,

Екатеринбург, Россия

E-mail: mlev@mail.ru

Исследование выполнено за счет

гранта Российского научного фонда

№ 23-11-20007, <https://rscf.ru/project/23-11-20007/>

Предмет исследования: вопросы комплексного анализа данных дистанционного зондирования археологических объектов, полученных с использованием нескольких различных по физическим принципам дистанционных методов.

Цель исследования: разработка процедур комплексного анализа данных об археологических объектах с применением средств современных информационных технологий и компьютерного моделирования на примере памятников бронзового века Южного Зауралья – укрепленного поселения Верхнеуральское и селища Нижнеуспенское.

Методы и объекты исследования: в качестве археологических объектов использованы поселения бронзового века в Южном Зауралье: укрепленное поселение Верхнеуральское и селище Нижнеуспенское. Данные об археологических объектах получены с применением методов дешифрирования аэрофотоснимков и космоснимков, локальной аэрофотосъемки с помощью беспилотных летательных аппаратов, съемки фотопланов археологических памятников на основе глобальной навигационной спутниковой системы и средств площадного электромагнитного профилирования индукционной системой АЭМП-14.

Основные результаты исследования: комплексное применение различных методов дистанционного зондирования позволило выявить на археологических объектах несколько разновременных строительных горизонтов и уточнить форму и контуры поселений.

Ключевые слова: Южное Зауралье, археология, бронзовый век, поселение, неразрушающие методы, компьютерное моделирование.

**ISSUES IN THE USE OF REMOTE SENSING DATA IN THE TASKS
OF A COMPREHENSIVE STUDY OF BRONZE AGE SETTLEMENTS
(ON THE EXAMPLE OF THE CHELYABINSK REGION)**

Natalya S. Batanina

*Head of Department of Archeology
Scientific and Educational Center of Study of History and Human,
Chelyabinsk State University,
Chelyabinsk, Russia
E-mail: bata567@inboxl.ru*

Elena V. Kupriyanova

*Candidate of Historical Sciences,
Director Scientific and Educational Center of Study of History and Human,
Chelyabinsk State University Chelyabinsk, Russia
E-mail: dzdan@mail.ru*

Lev A. Muravyev

*Candidate of Technical Sciences,
Head of Laboratory of Regional Geophysics,
Institute of Geophysics,
Ural Branch of Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia
E-mail: mlev@mail.ru*

*The research was carried out at the expense of a grant
from the Russian Science Foundation № 23-11-20007,
<https://rscf.ru/project/23-11-20007/>*

Subject of research: is the issues of complex analysis of remote sensing data of archaeological objects obtained using several remote methods that differ in physical principles.

Purpose of research : to develop procedures for the comprehensive analysis of data on archaeological sites using modern information technologies and computer modeling, as archaeological objects used Bronze Age settlements in the Southern Trans-Urals: Verkhneurskoye fortified settlement and Nizhneurskoye settlement.

Methods and objects of research : data on archaeological sites were obtained using methods of interpretation aerial photographs and satellite images, local aerial photography using unmanned aerial vehicles, photographing photographic plans of archaeological sites based on the global navigation satellite system and means of areal electromagnetic profiling by the AEMP-14 induction system.

Main results of research : the joint use of various remote sensing methods made it possible to identify several construction horizons of different times at archaeological sites and to clarify the shape and contours of settlements.

Keywords: Southern Trans-Urals, archaeology, Bronze Age, settlement, non-destructive methods, computer modeling.

Введение

В современной археологии выявление и изучение новых памятников все дальше отходит от методов классической разведки и выполняется с помощью различных приборов и автоматизированных систем. Активно используются методы дешифрирования аэрофото- и космо-

Укрепленное поселение Верхнеуральское было обнаружено на космоснимке Google сотрудником Музея-заповедника «Аркаим» А.Н. Страховым. Селище Нижнеуспенское, известное с 1960-х годов, было переобследовано по аэрофотоснимкам Н.С. Батаниной и классифицировано как укрепленное поселение. Авторским коллективом статьи при участии студентов и сотрудников Челябинского государственного университета и Музея-заповедника «Аркаим» были проведены полевые исследования новых памятников. Изучение архитектуры поселений проводилось пятью методами: дешифрирование аэрофотоснимков, космоснимков, площадное электромагнитное профилирование индукционной системой АЭМП-14, съемка с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS), построение ортофотопланов и цифровой модели рельефа по данным съемки с беспилотного летательного аппарата. Полученные разными методами данные совмещались с помощью компьютерных программ с целью получения целостного образа памятников.

Результаты и обсуждение

Примененные в исследовании методы

Метод дешифрирования аэрофотоснимков применяется для поиска и изучения археологических памятников археологами Челябинского государственного университета с 1980-х гг. Его принципы неоднократно описаны в научной литературе [например: 1; 2, с. 24-32]. Метод основан на изучении черно-белых аэрофотоснимков широких территорий советского периода, делавшихся для нужд геологии, геодезии, сельского и лесного хозяйства. На снимках объекты антропогенного происхождения отличаются от природных более четкой структурой и планировкой. Рельеф археологических памятников выделяется более светлым (возвышения – валы, стены, насыпи курганов) и более темным (углубления – жилищные впадины, рвы, могильные ямы) фототонном. Использование стереопар позволяет увидеть объемное изображение объекта. Снимки, сделанные в разные сезоны года (изменение растительного покрова) и в разное время суток (угол падения света), позволяют выделять дополнительные детали. Важными являются возможность определения последовательности культурных наслоений на поселенческих объектах и ретроспективный мониторинг памятников, основанный на изучении снимков одного объекта разных лет с последующим мониторингом на местности [2, с. 25].

Метод дешифрирования космоснимков стал применяться относительно недавно, с появлением данных спутниковой съемки. Снимки из открытых баз данных на сегодняшний день являются неотъемлемой частью археологических отчетов. Принципы выделения памятников на изображениях сходны с аэрометодом: темным и светлым фототонном выделяются углубления и возвышения в конструкциях памятников. Снимки разных лет и сопоставление их со старыми аэрофото позволяют проводить мониторинг состояния памятников и фиксировать факторы их разрушения.

Съемка планов памятников с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) производилась при помощи приемника GNSS, закрепленного на рюкзаке оператора, перемещающегося по территории объекта по сетке профилей через 1 метр в процессе геофизической съемки. Съемка велась в режиме Real Time Kinematics с использованием поправок от базового приемника, установленного в непосредственной близости. При этом кроме плановой привязки точек геофизических наблюдений приемник фиксирует свою высотную отметку, что дает возможность получения данных о рельефе поверхности. Затем производится анализ данных, которые могут быть преобразованы в облако точек или изображение, где цветовой шкалой выделяются углубления и возвышения, отражающие архитектурные детали объекта. Получаемые данные сходны с теми, которые фиксируются при тахеометрической съемке топографического плана.

Площадное электромагнитное профилирование индукционной системой АЭМП-14 является одним из методов геофизики, применяемых в археологии. Метод зарекомендовал себя как наиболее быстрый и эффективный, и относительно недорогой. Результаты, полученные ранее при изучении других памятников археологии, позволяют получить данные не только о

видимых на поверхности архитектурных деталях, но и о скрытых объектах, не фиксируемых в рельефе визуально.

Прибор разработан и изготавливается в Институте нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения РАН [3]. В отличие от магнитометрии, прибор позволяет получать информацию о распределении электромагнитных свойств грунта на нескольких частотах, соответствующих различным глубинам проникновения сигнала. Кроме того, прибор фиксирует две составляющих сигнала, одна отвечает именно магнитным объектам, а другая – проводящим. Можно анализировать эти сигналы отдельно, в сумме и в соотношении между собой. Реальная глубинность исследований ограничена затуханием магнитного поля дипольного источника в комплексе с чувствительностью приемников аппаратуры. Для аппаратуры АЭМП-14 глубина исследования не превышает 10 м при идеальных электрических свойствах проводящих пород. Измерения проводились во время движения оператора с измерительным прибором, приблизительно раз в 1 секунду (соответствует шагу около 0,5 метра) последовательно на всех 14 частотах. Обработка данных осуществлялась с помощью программ iSystem 3.3 и iiSystem 4.04.

Локальная аэрофотосъемка с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) получила в последнее время широкое распространение в исследовании территории. Относительная дешевизна приборов, детальность получаемой информации и богатство выбора программных продуктов, обрабатывающих полученные данные, позволяют решать широкий круг задач. Для исследования рассматриваемых памятников был использован квадрокоптер DJI Mini 2. На основе полученных данных составлялись ортофотоплан и цифровая модель рельефа, используемые для уточнения данных о современном состоянии площадки памятника и составления ситуационного плана. Полученные аэрофотоснимки обрабатывались при помощи программных средств Agisoft metashape. При этом метод, который предполагался к использованию как вспомогательный, дал в некоторых случаях результаты, превосходящие другие методы, и позволил оперативно скорректировать результаты работы. На поселении Верхнеуральское благодаря применению цифровой модели рельефа, сделанной для ситуационного плана и охватывающего большую площадь, выявлены более ранний горизонт строительства поселения и овальная структура, не замеченная на космоснимках. Заметим, что существует ряд методических решений, применение которых может повысить эффективность использования БПЛА.

Результаты исследований

Укрепленное поселение Верхнеуральское (рис. 2)

Памятник был обнаружен при просмотре космоснимков из открытого источника Google Earth. Объект расположен на левом берегу р. Урал в 4,7 км на ССЗ от пос. Спасский Верхнеуральского района Челябинской области. Натурные обследования подтвердили наличие поселения. С целью определения границ памятника было забито 6 шурфов за пределами читаемых на поверхности и космоснимках прямоугольных оборонительных сооружений, из которых 3 дали археологический материал – керамику бронзового века, кости, кремневые сколы. Поселение относительно хорошей сохранности, на поверхности читаются некоторые детали архитектуры, такие как развалы обводных и промежуточных стен, ряды жилищных впадин и единичные впадины, возможно, фрагменты рва. Комплекс использованных методов позволил выделить на площадке минимум 3 строительных горизонта, каждый из которых читался наилучшим образом на данных разных источников.

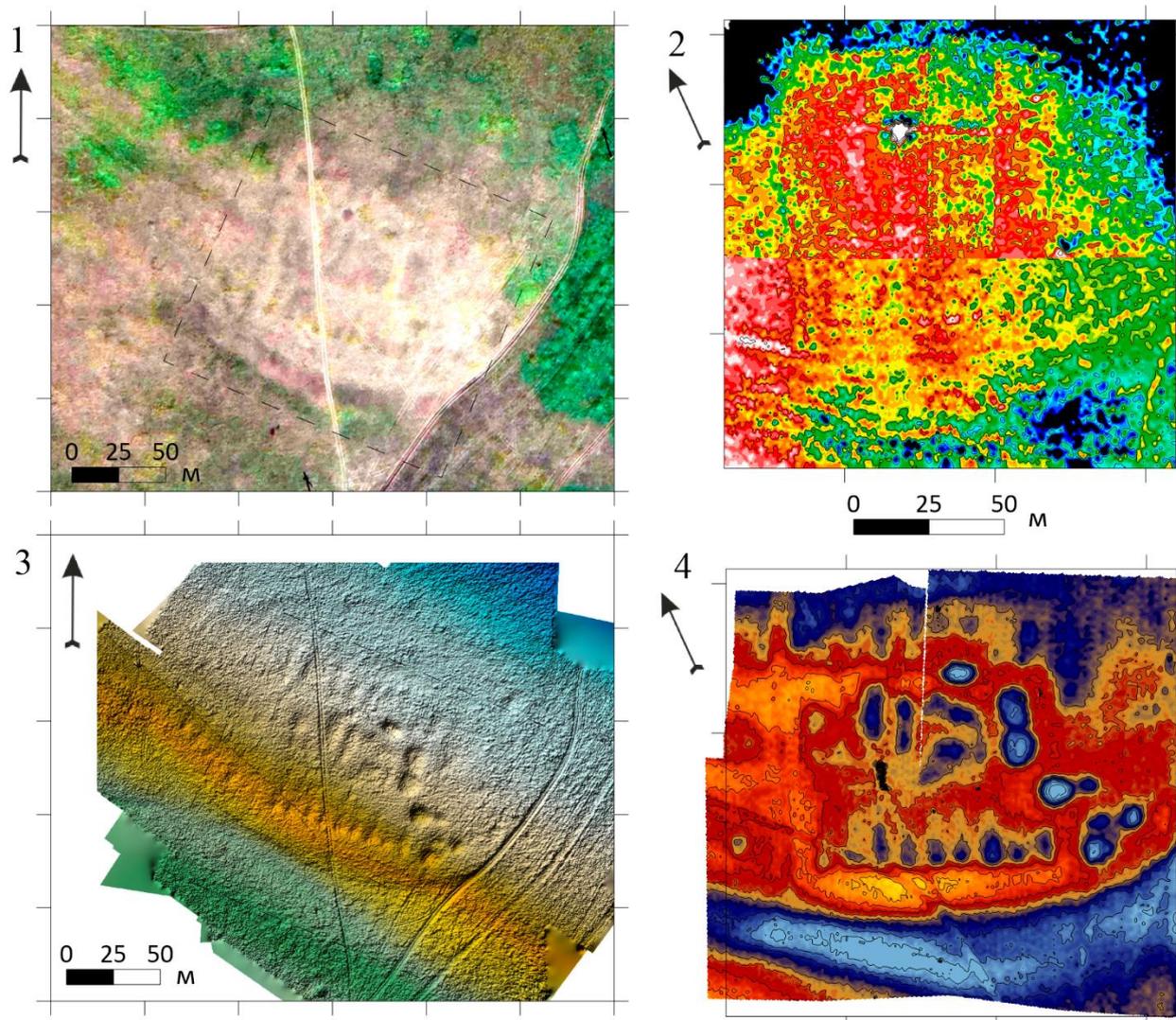


Рисунок 2 – Укрепленное поселение Верхнеуральское: 1 – фрагмент спутникового снимка, (Источник: Google Earth, дата съемки 15.08.2021); 2 – карта кажущегося электрического сопротивления; 3 – цифровая модель рельефа, сделанная на основании съемки с квадрокоптера; 4 – цифровая карта рельефа, сделанная на основании GNSS съемки

Результаты дешифрирования космоснимка (источник Google Earth) (рис.2.1)

Данные космической съемки позволили выявить и изучить второй горизонт строительства, который первоначально принимался за весь памятник – укрепленное поселение подпрямоугольной формы, ориентированное по линии северо-запад – юго-восток. Читаемые на снимке размеры поселения составляют около 110×140 м. На снимке четко видны северо-западная, северо-восточная и юго-западная внешние оборонительные стены и рвы за их пределами. Юго-восточная граница памятника выглядит размыто. Развалы стен поселения имеют сложную структуру. С юго-запада фиксируется две стены, разделенные рвом, по которому впоследствии прошел естественный лог. Наружная стена ориентирована северо-запад – юго-восток, обрывается в юго-восточной части. Размеры сооружения: 95×10 м. За наружной стеной идет замкнутая прямоугольная конструкция размером 80×90 м, окружающая жилое пространство поселения. Ширина развала стен прямоугольника варьирует от 10 до 20 м, такой диапазон связан с тем, что северо-восточная и юго-западная стороны прямоугольника, вероятно, двойные: юго-западная стена дублирует стену предыдущего овального поселения, к северо-восточной стене пристроена прямоугольная структура, вероятно, размытая впоследствии. Внутри читаются несколько рядов жилищных впадин, ориентированных по линии северо-запад – юго-восток. Ряд из 10 овальных впадин располагается с внутренней стороны

вдоль юго-западной стены, примыкая к ней торцевыми сторонами. Размеры впадин, читаемые на космоснимке, 6–10×10–20 м. К северо-востоку от этого ряда нечетко читаются еще несколько (4?) впадин, образующих второй параллельный ряд. По центру поселения по линии северо-запад – юго-восток фиксируется внутренняя промежуточная стена. За ней проходит еще один параллельный ей ряд из 6 впадин, за которым следует еще один плохо читаемый ряд из 6 впадин. За северо-восточной стеной, параллельно и вплотную к ней, проходит еще одна стена, которая в северо-западной части делает поворот под прямым углом на север-северо-восток и через 20 м обрывается. Вдоль нее тянется ряд из 5 жилищных впадин, не ограниченных с востока оборонительными сооружениями. Впадины читаются вблизи стены и нивелируются по направлению к краю площадки. По территории поселения (западная часть) проходит с севера на юг полевая дорога.

Таким образом, судя по данным космоснимка, структура поселения представляет собой несколько (4?) рядов жилищных впадин и разделяющую их внутреннюю стену, вписанных в квадрат внешних оборонительных сооружений. Вероятно, вплотную к северо-восточной стороне прямоугольного поселка стоял еще один, также, видимо, прямоугольный, от которого мы на снимке можем фиксировать одну целую стену, одну размытую (?) стену, угол между ними, а также ряд впадин. В целом площадка характеризуется нестабильным пестрым фото-тоном, определенно структура памятника значительно более сложная, чем удалось описать по данным снимка.

Результаты съемки с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) (рис. 2.4)

Полученная картина во многом согласуется с данными спутникового снимка и уточняет их. На GNSS плане превосходно виден третий горизонт застройки площадки – неукрепленное поселение, вероятно датируемое поздним бронзовым веком, стоящее поверх овального и прямоугольного укрепленных поселений в центральной и восточной частях площадки. Впадины глубокие и более округлые, чем впадины предыдущих строительных горизонтов, вытянуты в неправильный ряд по линии северо-запад – юго-восток. Частично котлованы вписаны в квадратное поселение: на GNSS плане северо-восточный ряд впадин отличается от космоснимка, здесь можно видеть две впадины, стоящие, вероятно, в котлованах более ранних жилищ, примыкающих к СВ стене, поздние же впадины частично разрушили ее. В этом ряду еще две, видимо, поздние впадины стоят перпендикулярно ранним, вдоль стены, несколько впадин стоят поверх северо-восточной и юго-восточной стен укрепленного поселения, три из них имеют восьмеркообразную форму.

Что касается прямоугольного укрепленного поселения, – на плане четко видны северо-западная и юго-западная внешние стены поселения, а также ряд впадин, расположенный параллельно юго-западной стене. В ряду выделяется 9 впадин, еще 3 поздние впадины стоят за юго-восточной стеной. Северо-восточная стена отражает все позднейшие вмешательства: на ней расположилась одна из поздних жилищных впадин, еще две поздние впадины подрезали ее с юго-запада. Юго-восточная стена читается плохо, так же как и внутренняя, предполагаемая по космоснимку.

Во втором с северо-востока ряду фиксируются только две впадины. В северо-восточной половине памятника в основном читаются поздние впадины, описанные выше. Более четко виден крайний северо-восточный ряд впадин и относящаяся к нему стена, примыкающие к разрушенной северо-восточной стене прямоугольного поселения. Совершенно четко видны четыре центральные впадины, по краям от них можно увидеть еще 2–3 впадины, а также угол стены, ограждающей этот ряд.

Хорошо видна на плане и полевая дорога, пролегающая через памятник.

Таким образом, на полученном изображении какие-то архитектурные детали поселения видны также хорошо, как на снимке (северо-западная, юго-западная стены, юго-западный ряд жилищных впадин), какие-то хуже (остальные ряды впадин, внутренняя стена), а какие-

то лучше (крайний северо-восточный ряд впадин за пределами оборонительных сооружений). Юго-восточная граница поселения на обоих изображениях видна одинаково нечетко.

Результаты съемки с использованием индукционной системы электромагнитного профилирования АЭМП-14 (рис. 2.2)

Геофизическая съемка была выполнена на площади 150×150 м, на территории второго и третьего строительных горизонтов: квадратного укрепленного и позднего неукрепленного поселений.

Анализ полученного плана показал, что на территории квадратного поселения кажущееся электромагнитное сопротивление в основном, за исключением северо-восточной стороны отснятой площадки, имеет более высокие показатели на участках возвышения рельефа и более низкие – на понижениях. При этом абсолютных значений, которые были бы показателями определенных конструкций или высот, не выявлено, выводы можно сделать лишь по контрастности изображения в определенном месте. В северо-восточной части отснятой площади, за пределами квадратного укрепленного поселения, картина меняется: фиксируется высокое сопротивление при общем понижении рельефа, что, возможно, связано с тем, что площадка в этом месте подмывалась, и состав грунтов в связи с этим менялся.

На карте кажущегося сопротивления читаются валы квадратного поселения. Наиболее четко видны северо-западная и юго-западная стороны квадрата, юго-восточная сторона не читается вовсе, северо-восточная двойная стена не фиксируется, однако превосходно виден ров шириной 3 м, разделяющий стену квадратного поселения и пристроенную к нему с северо-востока часть стены. При этом данные геофизики – единственный источник, который демонстрирует самый северо-восточный ров, ограничивающий ряд жилищных впадин, пристроенный к северо-восточной стене квадрата. Можно предположить, что стена была сnivelирована, как вся северо-восточная часть памятника, ров же, уходящий ниже материка, зафиксирован геофизической съемкой. Обращает на себя внимание структура северо-западной стены, она более сложная, нежели можно видеть на других данных, и, видимо, так же, как юго-западная и северо-восточная стены, двойная. С напольной западной стороны проходит вал шириной 3–4 м, далее понижение (ров?), маркируемое цепочкой пятен с низким сопротивлением, шириной от 1,5 до 3 метров, далее еще один вал шириной 3–5 м.

В южной половине участка фиксируется часть рва овального укрепленного поселения по пониженному, в сравнении с окружающей местностью, сопротивлению, шириной 3–4 м. Жилищные впадины четко идентифицировать на карте кажущегося электросопротивления не удается.

Результаты съемки с БПЛА (рис. 2.3)

Массив аэрофотоснимков, полученных при аэрофотосъемке с квадрокоптера, был обработан в программной среде Agisoft metashape, построены ортофотоплан и цифровая модель рельефа (ЦМР). Анализ ЦМР позволил выделить более ранний по отношению к прямоугольному укрепленному поселению строительный горизонт: укрепленное поселение овальной формы. Прямоугольное поселение на ЦМР также хорошо читается и дает схожую картину с материалами космической съемки и GNSS планом с некоторыми уточнениями.

Укрепленное поселение овальной формы имеет размеры 220×150 м, ориентировано по линии запад-северо-запад – восток-юго-восток. Ширина обводного вала составляет 15–18 м. Наилучшая сохранность конструкций овального поселения зафиксирована в южной и западной частях. Северная часть сnivelирована, возможно, паводковыми водами, читается значительно хуже. Восточная часть овальной конструкции не читается, вероятно, развал стены разрушен полевыми дорогами и распашкой, подходившей вплотную к ним.

На плане с БПЛА четко виден овальный развал стены, в южной и восточной частях читается обводной ров. Внутренняя структура памятника пострадала от поздних построек, что усложняет анализ планиграфии. Четко читается ряд жилищных впадин, стоящих вдоль южного вала, примыкая к нему торцевыми сторонами. В этот ряд вписан юго-западный ряд впадин квадратного поселения, описанный выше. В сохранившейся без поздних вмешательств западной части фиксируется 5 впадин. Севернее можно видеть валообразную насыпь, идущую

щую вдоль ряда впадин по линии запад-северо-запад – восток-юго-восток, за ней севернее – понижение, похожее на остатки рва, еще севернее – еще один вал. Понижение, похожее на ров, проходит по западной части площадки через западный развал стены, разделяя овальное поселение на две части, северную и южную. Валообразные насыпи, расположенные с двух сторон от «рва», упираются в западной части в обводной вал. Севернее фиксируется понижение вплоть до снивелированной северной части обводного вала, вероятно, размывтый ряд жилищных впадин.

В итоге каждый из примененных методов изучения объекта позволил выявить детали, не фиксируемые другими методами, либо дополнить видимую на других изображениях картину. Примечательно, что в данном случае качество изображения памятника на архивных аэрофотоснимках было гораздо хуже, чем на современных космоснимках, и показывало гораздо меньше деталей, чем изображения, полученные иными методами.

Селище Нижнеуспенское (рис. 3)

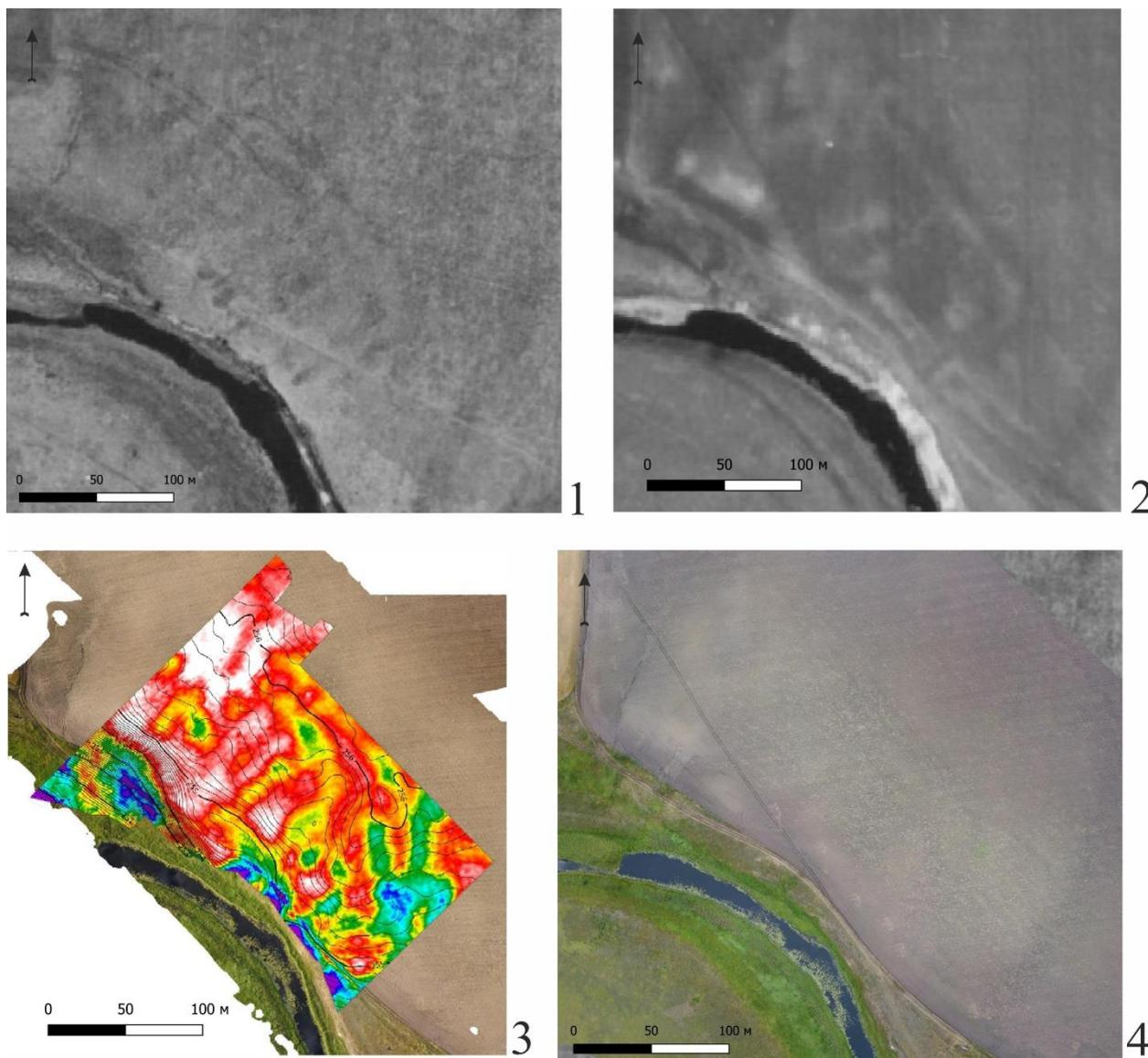


Рисунок 3 – Укрепленное поселение Нижнеуспенское: 1 – фрагмент аэрофотоснимка от 19.06.1956; 2 – фрагмент аэрофотоснимка от 8.05.1980; 3 – карта кажущегося электрического сопротивления; 4 – ортофотоплан, сделанный на основании съемки с квадрокоптера

Селище Нижнеуспенское было открыто учителем истории школы № 96 г. Челябинска Ф.М. Фоминым и его учениками в 1960 г. в процессе разведочной экспедиции от Челябинского областного краеведческого музея [4]. Расположено в Варненском районе, на левом ко-

ренном высоком берегу реки Средний Тогузак, в 5 км к востоку от с. Успеновское. В процессе осмотра площадки были найдены металлургический шлак, керамика бронзового века, кремневые отщепы. Детали архитектуры памятника на поверхности не фиксировались. Уже в 1960 гг. поверхность поселения активно распахивалась.

В 2023 г. Н.С. Батанина при изучении аэрофотоснимков обнаружила вокруг поселения конструкции, напоминающие укрепления, подобные оборонительным сооружениям укрепленных поселений, а также ряды жилищных впадин. В разведочном выезде была собрана керамика бронзового века, в том числе синташтинской культуры, что позволяет точно датировать поселение XXI–XVIII вв. до н. э. В современном состоянии на поверхности микрорельеф конструкций не фиксируется, площадка памятника выделена и ограничена по подъемным сборам. На площадке при разведочном обследовании забито 5 шурфов: три на пашне и два – на узкой нераспаханной полоске между руслом и дорогой, идущей вдоль пашни. Шурфовка показала, что основная часть памятника распахана до материка и глубже. Два шурфа на нетронутой части дали материал эпохи бронзы.

Результаты дешифрирования аэрофотоснимков (рис. 3.1-2)

Памятник выявлен при работе с материалами аэрофотосъемки от 19.07.1956 г. масштабом 1:15 000. Именно эти наиболее ранние материалы используются как основа для анализа планиграфии памятника. В качестве вспомогательных были использованы снимки от 08.05.1980 г. масштабом 1:26 000 и 24.08.1982 г. масштабом 1:13 000.

Сохранность памятника уже на аэрофото фиксируется как очень плохая. Все объекты выделяются нечетко. Данные дешифрирования говорят о том, что поселение неоднослойно: поверх укрепленного поселения читается ряд поздних жилищных впадин, окруженный характерным для поселений эпохи поздней бронзы пятном зольника.

Укрепленное поселение имело подпрямоугольную форму, ориентированно по линии северо-запад – юго-восток, длинной стороной вдоль реки. Юго-западный край поселения разрушен обрывом берега. Структуру укрепленного поселения задает вал оборонительной стены светлого фототона, ориентированный по линии северо-запад – юго-восток, за ним более темным цветом – линия рва. Внешние размеры сохранившейся части вала на момент аэрофотосъемки составляли 185×120 м, видимая ширина вала – 10–20 м. Внутри видны ряды жилищных впадин, ориентированные поперек длинной оси прямоугольной площадки поселения. Выделить отдельные впадины в рядах не представляется возможным, на аэрофотоснимке они фиксируются как длинные темные полосы вдоль торцевых обводных стен, насчитывается не менее 6 рядов впадин. Средняя длина рядов – 80 м, ширина около 15 м. На северо-западной и юго-восточной торцевых сторонах прямоугольного поселения слабо читаются следы перестроек. Юго-восточную стену с напольной стороны дублирует слабо читаемая более короткая стена, которая в северо-восточной части поворачивает на запад и «уходит» под основную обводную стену. Между рядами жилищных впадин местами также угадываются промежуточные стены, но, к сожалению, утверждать, базируясь только на материалах аэрофотосъемки, ничего нельзя. Можно лишь предполагать более сложную планиграфию памятника.

Второй строительный горизонт, позднее неукрепленное поселение занимает юго-западную часть площадки, примыкающую к реке. На тонкой линии вдоль кромки обрывистого берега читается ряд из пяти жилищных впадин, ориентированных перпендикулярно руслу юго-запад – северо-восток, размеры впадин 11–18×8–11 м. Вокруг впадин читается светлый ореол зольника. Неукрепленное поселение сохранилось на момент съемки значительно лучше укрепленного.

Результаты съемки с БПЛА (рис. 3.4)

На настоящее время не сделано полной съемки площадки памятника, поскольку его поверхность полностью сnivelирована, визуальных ориентиров на пашне нет, а для использовавшейся модели дрона нельзя было задать маршрут полета. В сезон 2023 года, когда производились работы, поле, на котором стоит памятник, было распаханно. На момент съемки на распаханной поверхности росли редкие сорные травы. При построении ортофотоплана и привязке

его к аэрофотоснимку выяснилось, что сорная растительность маркировала планиграфию поселения. На месте рва трава была более развитая и зеленая, нежели на остатках вала; ряды жилищных впадин также характеризовались более мощной растительностью. Очертания обводной стены можно было смутно угадать лишь по более светлому цвету грунта.

Результаты съемки с использованием индукционной системы электромагнитного профилирования АЭМП-14 (рис. 3.3)

Съемка проводилась на площади 240x140 м на территории укрепленного поселения, ограниченной на основании данных аэрофотосъемки и подъемных сборов. Карта кажущегося сопротивления Нижнеуспенского укрепленного поселения показала обратное Верхнеуральскому распределение аномалий. Судя по материалам дешифрирования аэрофотоснимков, единственному источнику, на котором видна какая-то структура памятника, пониженное электромагнитное сопротивление здесь маркирует некогда возвышавшиеся элементы микрорельефа, такие как валы. Данные полученной карты лишь частично соответствуют данным аэрофотоснимков центральной части площадки, а в северо-западной и юго-восточной частях сильно отличаются и местами противоречат им.

На карте кажущегося сопротивления частично читается северо-восточный обводной вал поселения шириной от 10 до 18 м. Северо-западный и юго-восточный валы не видны, на их месте фигурируют структуры, которые не согласуются с материалами дешифрирования аэрофотоснимков. Читаются частично элементы внутренней структуры поселения. В северо-западной части четко видны две валообразные насыпи, параллельные торцевым сторонам внешних укреплений. Эти конструкции читались также на аэрофотоснимке от 1956 г. и были интерпретированы как промежуточные стены между рядами жилищных впадин. Ширина насыпей от 9 до 12 м, читаемая по карте сопротивления длина – 45 и 46 м. В юго-западной части валы сливаются в единое пятно с низкими значениями сопротивления, вытянутое вдоль русла с северо-запада на юго-восток.

По нашему мнению, это следы неукрепленного поселения эпохи поздней бронзы, которые наложились на руины промежуточных стен укрепленного поселения, что дало такую картину электрического сопротивления. В центре площадки укрепленного поселения читается грушевидной формы участок пониженного сопротивления, ориентированный параллельно описанным выше внутренним валам, расширяющийся в юго-западной части. Его длина 54 м, ширина от 19 до 29 м. Юго-восточнее – еще одно пятно пониженного сопротивления, округлое с выступами на юг и северо-запад диаметром около 24 м. Эти конструкции, читающиеся и на материалах аэрофотосъемки, вероятно, также являются остатками внутренних промежуточных стен.

Понижения микрорельефа, видимые на аэрофотоснимках, фиксируются на карте кажущегося электрического сопротивления как участки с более высоким сопротивлением. Виден внешний ров шириной 6-10 м, с разной отчетливостью читаются ряды жилищных впадин в центральной части, частично – в северо-западной части укрепленного поселения, и частично – ряд впадин неукрепленного поселения. В юго-восточной части площадки карта сопротивления не соответствует данным аэрофотосъемки. Это может говорить о сильнейших разрушениях памятника ниже уровня материка на указанных участках или о сложной структуре подстилающих пород.

Итогом изучения Нижнеуспенского селища служит вывод, что комплексное применение нескольких неразрушающих методов позволяет составить представление о конструкции памятника, имеющего даже такую неудовлетворительную сохранность и полностью сnivelированного в ландшафте. Заметим, что классические методы археологической разведки не позволяют выявить на земной поверхности никакие архитектурные детали.

Обсуждение

Таким образом, использованные методы предоставляют информацию об археологических памятниках в различных форматах. В таблице, представляющей результаты сравнения

разных методов, показаны достоинства и недостатки использованных методов применительно к исследованию археологических объектов.

Таблица – Сравнительный анализ неразрушающих методов исследования археологических памятников, применявшихся для изучения новых укрепленных поселений

Метод	Принципы	Вид получаемых данных	Преимущества	Недостатки
<i>Метод дешифрирования аэрофотоснимков</i>	Выделение археологических объектов от природного окружения по структуре и конфигурации. Выделение архитектурных деталей (возвышений и углублений) светлым и темным фототоном	Черно-белое изображение, стереоизображение	Позволяет выявить объекты, не видимые при натурных исследованиях. Показывает состояние памятников в более сохранном состоянии, до начала активной антропогенной разрушающей деятельности. Позволяет фиксировать изменения памятника, культурные наслоения, детали архитектуры	Не на все территории есть комплекты аэрофотоснимков. Не фиксирует невыраженные в рельефе объекты
<i>Метод дешифрирования космоснимков</i>	Выделение археологических объектов от природного окружения по структуре и конфигурации. Выделение архитектурных деталей (возвышений и углублений) светлым и темным фототоном	Цветное изображение	Позволяет выявить объекты, не видимые при натурных исследованиях. Позволяет фиксировать изменения памятника, детали архитектуры	Большинство памятников имеют худшую сохранность, чем в советский период вследствие разрушения, соответственно, качество изображений худшее по сравнению с аэрофото. Не фиксирует невыраженные в рельефе объекты
<i>Съемка планов памятников с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS)</i>	Фиксация разницы высот современной поверхности памятника, получение топографического плана	Облако точек, цветное изображение с цветовой шкалой разницы высот, 3D модель	Позволяет более быстро снимать топографический план, фиксирует детали архитектуры	Не фиксирует невыраженные в рельефе объекты
<i>Площадное электромагнитное профилирование индукционной системой АЭМП-14</i>	Получение информации о распределении электромагнитных свойств грунта на нескольких частотах, соответствующих различным глубинам проникновения сигнала	Облако точек, цветное изображение с цветовой шкалой разницы электромагнитного сопротивления	Позволяет выявлять детали архитектуры по разнице электромагнитного сопротивления почвенных слоев при сопоставлении с данными снимков и топографическим планом. Позволяет фиксировать невидимые на поверхности объекты	Качество получаемых данных зависит от природных условий. Не на всех грунтах метод работает одинаково хорошо
<i>Анализ аэрофотосъемки с БПЛА</i>	Получение как ортофотоплана поверхности, который можно дешифрировать подобно космоснимкам, так и цифровой модели рельефа, позволяющей построить топографический план местности	Массив геопривязанных цифровых аэрофотоснимков, ортофотоплан, цифровая модель местности	Позволяет быстро покрывать съемкой большие площади, оперативно получать 3D модель местности и ортофотоплан, что дает возможность выявления объектов различной сохранности	Фиксирует только современную топографическую ситуацию, получаемый топографический план отражает не только поверхность, но и не имеющие к ландшафту детали (например, растительность)

Более детальная и полная картина для изучения сложных археологических памятников, таких как укрепленные поселения, и памятников, имеющих плохую сохранность, получается при сопоставлении данных, полученных различными методами. В настоящее время рассматриваются перспективы обучения нейросетей для распознавания и выявления археологических объектов на базе получаемой различными методами информации.

Заключение и выводы

На сегодняшний день для изучения археологических памятников не существует универсального метода неразрушающих исследований, одинаково хорошо работающего на объектах разного типа, в разных регионах, почвенных и климатических условиях. Эффективность изучения объектов значительно повышается с применением нескольких методов исследования, взаимодополняющих друг друга. Каждый из применявшихся методов позволил увидеть в архитектуре укрепленных поселений бронзового века Верхнеуральское и Нижнеуспенское новые детали, не фиксируемые другими методами. На обоих памятниках было выделено несколько разновременных строительных горизонтов, что в дальнейшем при проведении археологических раскопок позволит целенаправленно закладывать разрезы. Полученные изображения и цифровые модели местности могут быть использованы при обучении нейросетей дистанционному поиску археологических объектов.

Литература

1. Зданович, Г. Б. Укрепленные центры эпохи средней бронзы в Южном Зауралье / Г. Б. Зданович, И. М. Батанина. – Текст : непосредственный // Степная цивилизация Восточной Евразии. – Т. 1. – Древние эпохи. – Астана, 2003. – С. 72–87.
2. Зданович, Г. Б. Аркаим – Страна городов: пространство и образы / Г. Б. Зданович, И. М. Батанина. – Челябинск : Издательство «Крокус»; Южно-Уральское книжное издательство, 2007. – 260 с. – Текст : непосредственный.
3. Карин, Ю. Г. Электромагнитное профилирование компактной аппаратурой: новый подход и результаты применения / Ю. Г. Карин, Е. В. Балков, Д. И. Фадеев, А. К. Манштейн, Г. Л. Панин, А. О. Алымов, Д. Б. Романов. – Текст : непосредственный // Вестник НГУ. – Серия : информационные технологии. – 2018. – Том 16. – № 4. – С. 68–78.
4. Фомин, Ф. М. Отчет об археологической разведке в Варненском и Чесменском районах Челябинской области, проведенной Челябинским областным краеведческим музеем в июле 1960 года / Ф. М. Фомин. – Челябинск, 1960. – Архив отчетов УНЦ изучения проблем природы и человека ФГБОУ ВО «ЧелГУ». – № 39-1960. – Текст : непосредственный.